

超精密磨床系统振动监控及平衡技术研究

王振忠 郑琳 郭隐彪

(厦门大学机电工程系, 福建 厦门 361005)

摘要: 针对高精度磨削加工中磨床系统振动监控及主轴、砂轮平衡的需要, 提出基于虚拟仪器设计的振动信号采集及分析系统。该系统由单片机的信号采集单元和上位计算机处理系统组成, 具有加工状态实时监控、信号采集存储、信号分析处理、平衡计算、控制输出等功能。试验结果表明: 系统的理论分析方法和功能满足设计要求。

关键词: 虚拟仪器; 信号采集与处理; 振动; 砂轮平衡; 单片机

磨削作为机械加工的重要组成部分, 是精密和超精密加工的重要手段。磨削加工是一个多种因素综合作用的过程, 磨削过程中产生振动的各种原因中, 最主要的是转子不平衡, 振动直接影响工件的加工精度^[1]。文献[2]通过研究设备运行过程中的状态, 来预测设备的可靠性, 并确定转子部件的不平衡量。文献[3]提出简洁和模块化振动信号监测系统的软、硬件设计技术, 合具有良好的人机交互能力和操作简单的特点。文献[4]通过对磨削加工系统的经济性、可靠性的分析, 研究不平衡监控技术对超精密加工系统平衡的重要性。

针对高精度非球面磨削加工中, 加工主轴系统的振动和工具的不平衡对加工精度的影响情况, 本文提出了基于虚拟仪器设计、对磨床振动信号进行采集与分析的监测系统^[5]。系统由单片机的数据采集装置和上位计算机来实现, 具有以下功能: (1) 通过传感器采集振动信号, 送入以单片机为核心的数据采集单元, 进行原始数据保存或信号处理。单片机可完成振动信号的单一功能要求的处理。若需处理复杂功能或更高精度的要求, 可以通过 USB 口将测量数据传递至上位计算机。(2) 由上位计算机 A/D 卡直接采集传感器的振动信号, 根据不同功能要求进行数据处理。得到系统加工状态、振动波形、不平衡量等计算结果, 并可以完成数据存储、输出控制等功能。(3) 接收单片机采集的数据, 完成特定功能要求的数据分析处理。

1 系统硬件设计

1.1 信号采集及处理单元

信号采集及处理单元通过加速度传感器测量加工系统主轴和砂轮的振动, 将振动信号转换成电信号, 并经滤波、放大等一系列硬件电路及

软件程序处理, 得到各部分转子的不平衡量信息。研究从电路中得到的转子不平衡的振动信号到计算得到校正面上不平衡量的大小和相位, 是采集及处理单元正常工作的理论基础。单元硬件结构如图 1 所示。

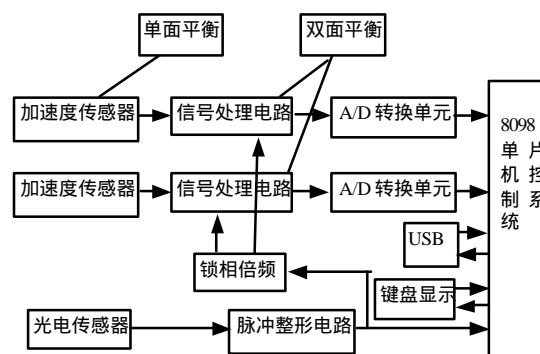


图 1 信号采集及处理单元硬件框图

单元工作流程: (1) 通过加速度传感器采集不平衡产生的振动信号, 送入信号处理电路; 光电传感器产生一个零位信号, 作为测量到的转子不平衡量所在相位的基准 (零位信号的初始相位相对于被测转子固定不变, 其频率与被测转子的旋转角频率同步) 输入到信号处理电路。(2) 振动信号通过硬件中的低通滤波、运算放大、跟踪滤波、A/D 转换等电路处理后送入单片机系统。(3) 由单片机对信号处理电路传来的信号进行采样并和零位信号相比较计算, 得到包含不平衡量数据; 根据状态控制和键盘命令进行数据处理, 得到转子不平衡量的大小和相位, 并在液晶显示器上显示产生的图像和结果。(4) 通过 USB 口传递至上位计算机, 进行更高精度的处理或者离线处理分析。

1.2 单片机主机电路

由 8098 加外接扩展芯片构成的主机电路如图 2。该电路中, 8098 扩展了 1 片可编程序只读存储器, 1 片 RAM, 1 片 8155。扩展芯片可根据需要的大小进行选择。8098 P3 口输出的低位地

作者简介: 王振忠 (1981 -), 男, 2003 级研究生

址信号,经74LS373锁存送至各存储器的低位,P4口输出的高位地址信号分别送至各存储器的高位。8155直接连至8098的P3口。存储器和I/O口的控制信号分别与8098的相应端连接,从而可实现各器件的读写操作。按功能可分为如下四部分:(1)基本系统:包括CPU、RAM、EPROM;(2)外设及接口部分:包括键盘、液晶显示器及外设接口8155;(3)信号采集与处理部分;(4)并行通讯口USB。

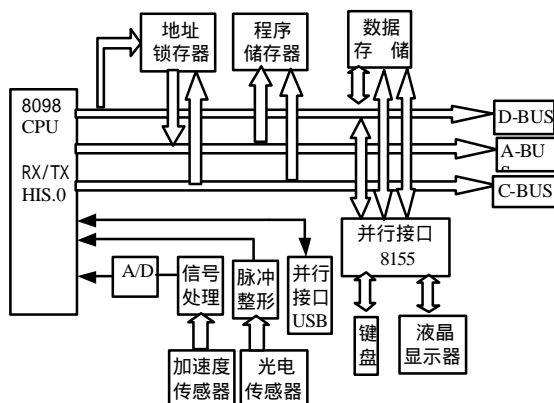


图2 单片机主机电路

1.3 实验系统构成

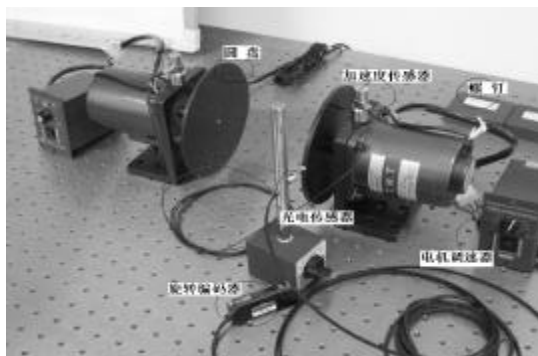


图3 实验系统构成

根据振动信号采集与处理单元的功能要求,本文构建了如图3中所示的试验系统。实验系统由:不平衡量由电机带动圆盘提供;信号采集是采用日本ONO公司的NP-3120加速度传感器;光电旋转编码器采用日本KEYENCE公司的FS-V21;上位计算机模数转换A/D卡采用研华PCL816;P计算机的输出外部设备还有打印机等。

2 系统软件设计

2.1 系统概述

软件系统的工作目的是对设备的振动不平衡量进行测量和动平衡。软件以Windows2000为开

发平台,以VC++为开发工具。其工作流程如图4所示。

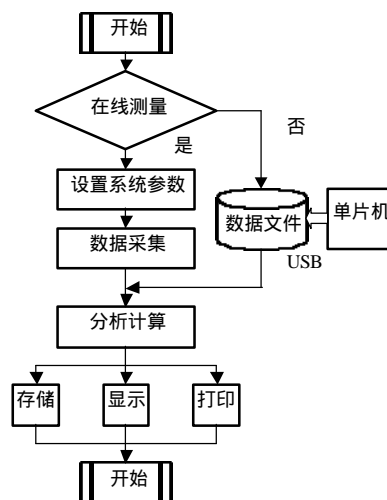


图4 主程序流程

信号采集与处理单元的软件通过98单片机开发系统完成。主要是负责振动信号的采集、简单功能的分析和现场信号的存储。

上位计算机是负责进行具有高精度要求或复杂功能要求的信号处理。首先判断是否是在线测量,如果是就进入“系统参数设置”,设置的参数有:采集的周期数、每周周期采样的点数及单面/双面测量;设置完毕进入数据采集程序;计算机将数据采集的结果进行分析计算,进行显示或进入存储。若不是在线测量,计算机就通过从外部的单片机系统导入采集到的数据文件,进行分析处理。

2.2 目标系统功能分析

通过对控制系统功能的分析,由三个基本环节构成的目标系统:

(1)信息采集:通过传感器采集设备的振动、转速等信息,转换成对应的数字量,存储到指定位置,等待分析处理。

(2)分析处理:采集的信息通过一定的计算进行变换处理,获得最直观最有用的特征信息,对设备的状态进行识别。包括波形、振动大小相位、对应的不平衡量大小和相位、进行平衡的计算等。

(3)输出控制:将通过分析处理计算出的不平衡量显示出来,进行手动调整平衡,或控制仪器调整。

3 功能模块设计

3.1 信息采集模块

进行数据采集时,首先采集转速信号,确定转子是否达到稳定转速。通过光电传感器测量贴在转子某处的反光片两次经过传感器的时间,从而计算得到转速。如果稳定再采集振动信号。

3.2 分析处理模块

分析处理的目的是为了得到波形、振动大小相位、对应的不平衡量大小和相位、平衡校正等数据。对采集到的数字信号进行滤波,就可以得到产生振动的主要影响因素——基频波形。从而计算得到振动的幅值和相位。

离心力为 $F = mr\omega^2$, 所以不平衡量的大小通常以 mr 来表示。按照影响系数法,确定幅值 A 与不平衡量大小的比例关系,及相角 φ 与不平衡量相位之间的定量关系。就可以从原始振动计算得到不平衡量的大小和相位。

(1) 单面平衡

如图 5 所示,若再转子上加上一个已知重量的试重,那么通过力的合成关系以及振幅和力的大小成正比的关系,可以得到:

$$\vec{A}_1 = \vec{A}_0 + \vec{A}_f \quad (1)$$

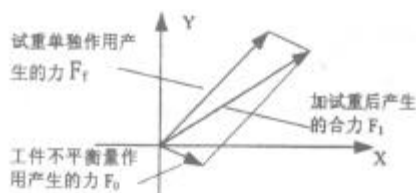


图 5 矢量关系图

求出试重单独作用产生的振动,就可以求出影响系数:

$$\vec{K} = \frac{\vec{A}_1 - \vec{A}_0}{\vec{f}}$$

(2) 由 $K = \frac{A_f}{mr}$ 得转子不平衡量的大小

$$MR = \frac{A_0}{K}$$

取试重所在位置的角度作为一固定角度值,则整个测量系统由此确定了一个坐标,以后的测量都以此作为基准。式中 φ_f 与固定角度值的差值 $\Delta\varphi$, 该值作为一个定量值,以后的测量得到的相位值减去该 $\Delta\varphi$, 就可以得到在已经确定的坐标系中的实际的相位值。

(2) 双面平衡的推导

在平衡面 1 处加上一个标准砝码,即增加一

个不平衡量 \vec{u}_1 , 会在平面 1 和平面 2 上都产生振动, 设在平面 1 上产生的振动量为 \vec{A}_{11} , 在平衡面 2 上产生的振动量为 \vec{A}_{21} , 则:

$$\begin{cases} \vec{A}_{11} = \vec{A}_{10} + \vec{A}_{u1} \\ \vec{A}_{21} = \vec{A}_{20} + \vec{A}_{u2} \end{cases} \quad (3)$$

由式 (3.2.1) 和 (3.2.2) 可以解得影响系数:

$$\vec{K}_{11} = \frac{\vec{A}_{11} - \vec{A}_{10}}{\vec{u}_1}, \quad \vec{K}_{21} = \frac{\vec{A}_{21} - \vec{A}_{20}}{\vec{u}_1} \quad (4)$$

同理, 在平衡面 2 处加上一个不平衡量 \vec{u}_2 , 可以得到:

$$\vec{K}_{12} = \frac{\vec{A}_{12} - \vec{A}_{10}}{\vec{u}_2}, \quad \vec{K}_{22} = \frac{\vec{A}_{22} - \vec{A}_{20}}{\vec{u}_2} \quad (5)$$

将式 (4), (5) 代入平衡方程:

$$\begin{cases} \vec{A}_{10} \\ \vec{A}_{20} \end{cases} = \begin{cases} \vec{K}_{11} & \vec{K}_{12} \\ \vec{K}_{21} & \vec{K}_{22} \end{cases} \begin{cases} \vec{v}_1 \\ \vec{v}_2 \end{cases} \quad (6)$$

求得在平衡面 1 处的不平衡量 \vec{v}_1 和在平衡面 2 处的不平衡量 \vec{v}_2 。 \vec{v}_1 和 \vec{v}_2 的值即对应着不平衡量的大小, 也就是重径积 M_1R_1 和 M_2R_2 , 其相位 φ_1 和 φ_2 分别是对应于两个平衡面零相位的值。

本系统主要采用加重的方法对螺孔式平衡盘进行平衡, 通过力的分解计算, 将校正质量分解到相邻的两个螺孔上。

3.3 输出控制模块

该系统的输出包括了显示、打印和存储。此外, 将该系统的输出连接到平衡控制系统, 如加、去重平衡装置, 就可以完成在线平衡控制功能。

在测量结果的显示中, 包括了基本的系统设置, 波形, 计算结果显示。系统界面如图 6 所示。左边为控制按钮, 右边为测量结果显示。

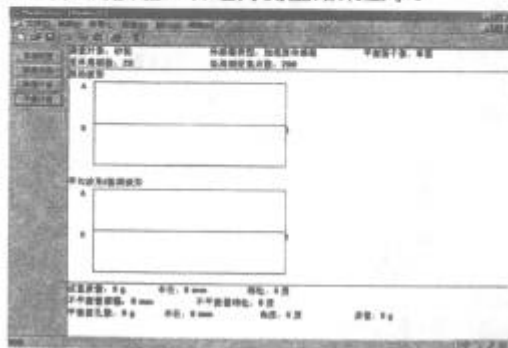


图 6 系统主界面

4 系统定标试验

为了验证系统计算方法和设计程序的准确性进行定标实验。实验标准系统为日本 Sigma 公司的 SB-8002 动平衡仪。该动平衡仪是便携式的,能够测量 0.001 mm 不平量,具有很高的测量精度。角度、位移、不平衡量、转速均用大 LED 显示在操作面板上,读取方便。实验系统参数如表 1 所示。

对于单面测量,在平衡盘上加试重的 $m = 1.82\text{ g}$,相位为 0° ,分别用定标系统和本系统进行计算,实验结果如图 7 所示。

表 1 实验参数

	定标系统		本系统	
	质量 (g)	相位 (度)	质量 (g)	相位 (度)
校正块	6.05	354	6.02	353
分解校正 1	4.85	0	4.70	0
分解校正 2	1.35	330	1.46	330

由实验结果可知:设计系统算出的结果和用定标系统的结果存在一定的误差。分析误差产生的原因可能由以下两方面:(1)系统的计算是建立在理想状态下的,没有考虑到安装、阻尼等因素影响。(2)取值精度有差别,SB-8002 动平衡仪采用单片机进行采集计算,精度有限,而本实

验的计算是由计算机完成。定标实验分 3 步进行,按照计算的结果调整平衡盘;调整后进行再次测量;实验结果表明系统经过平衡校正后,达到设计要求。

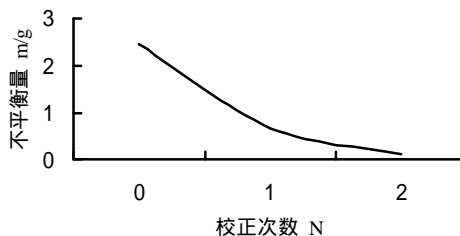


图 7 系统定标曲线

5 小结

本课题研究并开发一套基于虚拟仪器设计的振动信号采集及分析系统,通过实验得到以下结论:

(1) 提出由上位计算机和单片机测量单元组成的测量与分析系统,满足高精度磨削加工振动监控及平衡的需要。

(2) 采用的影响系数法,对采集数据的分析处理的具体计算进行了详细的分析。经过定标试验验证了理论的可行性。

(3) 完成一套适用于动平衡系统,满足不同功能要求的模块化软件设计。

参考文献:

- [1]王汉英 张再实 徐锡林编. 转子平衡技术与平衡机. 北京:机械工业出版社, 1988
- [2]张正松 傅尚新 冯冠平等编. 旋转机械振动监控及故障诊断. 北京:机械工业出版社, 1991
- [3]胡友民 杜润生 杨叔子. 智能化状态监控技术研究. 中国机械工程, 2003, 14 (11): 946~949
- [4] B.Karpuschewski, M.Wehmeier, I.Inasaki. Grinding monitoring system based on power and acoustic emission sensors[J]. Annals of the CIRP, 2000, 49(1): 235~240
- [5] 郭隐彪, 黄元庆, 庄司克雄. 非轴对称非球面平行磨削误差补偿技术研究. 机械工程学报, 2002, 38 (5): 118~121